

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА МАТЕРИАЛОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.Е. Телепнев, Р.Д. Герасимов, А.Я. Пак  
Томский политехнический университет  
[rdg2@tpu.ru](mailto:rdg2@tpu.ru)

## Введение

Синтез различных материалов с интересующими нас свойствами является актуальным вопросом в настоящее время. Уже известно множество методик получения ультрадисперсных материалов, покрытий и объемных материалов на их основе. На текущий момент, активнее всех применяются электроразрядные методы получения порошковых материалов, например, на основе углерода. В данной работе акцентируется внимание на методах генерации плазмы в открытой воздушной среде электродуговой установкой постоянного тока [1,2].

Целью, преследуемой в данной работе, является разработка автоматизированной системы управления перемещением анода плазмохимического реактора.

## Описание алгоритма

Лабораторная установка, разработанная в ходе выполнения данной работы, состоит из силового источника питания с диапазоном рабочих токов 20...200 А, подсоединенного непосредственно через силовые кабели к графитовым электродам, между которыми поджигается дуговой разряд постоянного тока [1]. Рабочие параметры, а именно, ток и напряжение разряда регистрировались посредством снятия напряжения с омического делителя напряжения и снятия тока при помощи датчика Холла. Все эти показания выводились на цифровой осциллограф. По полученным осциллограммам можно довольно точно определить время горения разряда, динамику изменения напряжения и тока разряда во времени. Чтобы процесс генерации электродуговой плазмы был стабилен и в пределах заданных вольтамперных характеристик горения разряда, требуется стабилизация разрядного промежутка хотя бы на стадии инициирования дуги.

Исходя из поставленной задачи, потребовалось составить принципиальную схему управления, алгоритм и программу. Управление процессами, проводимыми в исследовании, выполнялись на основе компактной платы Arduino Nano с микроконтроллером ATmega328. Реализация системы началась с разработки принципиальной схемы (рис. 1). В системе, согласовано с контроллером, работает драйвер шагового двигателя типа A4988, питающий двигатель Nema 17 линейного привода. В схему введены два микропереключателя для определения границ перемещения рабочего органа электрода на установке, операторская кнопка запуска, шаговый двигатель NEMA 17, драйвер двигателя A4988, и датчики тока и напряжения.

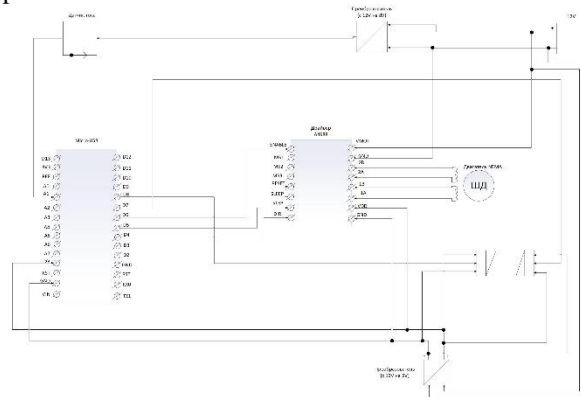


Рис. 1. Принципиальная схема

## Алгоритм работы

На рисунке 2 приведена блок-схема программы, которую исполняет микроконтроллер. Оператору требуется нажать кнопку «Пуск» для приведения программы в действие. После успешного запуска, начинается перемещение шаговым двигателем рабочего органа линейного привода с закрепленным на нем анодом в крайнее верхнее положение. После этого, анод начинает опускаться с предустановленной скоростью до момента, когда сила тока в силовой цепи, измеряемая при помощи датчика Холла, превысит заданную в программе величину тока. Далее исполняется функция прогрева электродов протекающим через них током, реализованная в виде задержки в алгоритме программы. От функции прогрева зависит стабильность горения разряда при работе установки. При отсутствии функции по времени задержки инициирование горения разряда происходит с определенной долей вероятности, исходя из числа успешных экспериментов, проведенных с установкой и неудачных, вероятность инициирования горения разряда при нулевом времени задержки составила менее 50%. Само значение времени задержки между событиями соприкосновения анода и формирования разрядного промежутка, посредством перемещения анода в обратном направлении от катода, которое позволяло поддерживать стабильное инициирование разряда – определялось экспериментально для различных видов и конструкций электродов. При формировании величины разрядного промежутка, при отдалении анода от катода, координата рабочего органа привода поддерживается на заданном значении в течение предварительно заданного промежутка времени. Выполнив все описанные функции, анод, закрепленный на рабочем органе линейного привода, приводится в крайнее верхнее положение, подготавливая установку к последующим экспериментам.

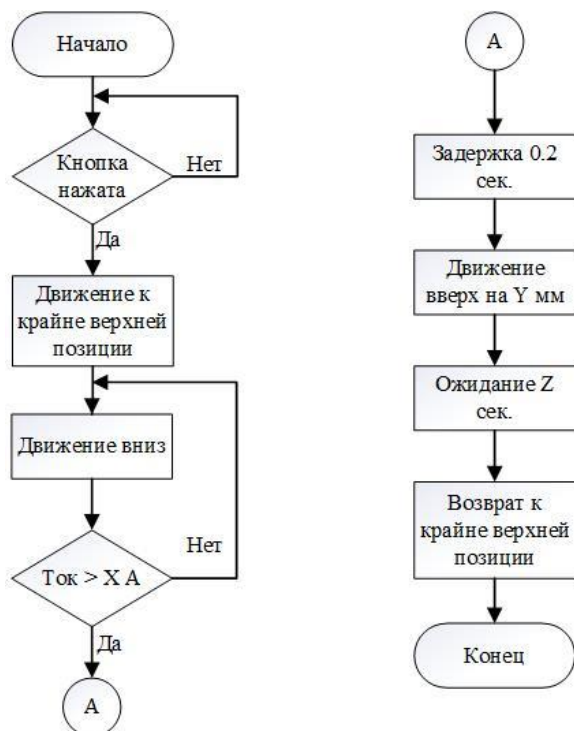


Рис. 2. Блок-схем алгоритма управления

### Результаты экспериментов

Разработав установку и систему её автоматизированного управления, были проведены эксперименты по поддержке стабильного дугового разряда плазмохимическим реактором постоянного тока, при этом использовались графитовые электроды. В большинстве экспериментов, величина рабочего тока определялась диапазоном в 100...200 А. На рисунке 3, в качестве примера, приведены типичные осциллограммы напряжения и тока во времени дугового разряда. Исходя из характера осциллограмм, дуговой разряд поддерживается в заданном оператором временном интервале. Перемножением величин напряжения и тока можно получить кривые мощности, а из кривых мощности путем интегрирования по времени можно найти энергию разряда. Для каждого эксперимента найдена фактическая продолжительность горения дугового разряда, согласно полученным осциллограммам. В каждом эксперименте фиксировались изменения массы электродов. В частности, в каждом эксперименте определена величина снижения массы анода. По замерам, вышло что в процессе горения дугового разряда, часть массы анода переходит на катод, что соответствует известным представлениям о электродуговых реакторах постоянного тока с графитовыми электродами [2].



Рис. 3. Осциллограммы напряжения и тока

### Заключение

Автоматизированная система управления установкой позволяет инициировать и поддерживать заданное время (порядка 5...15 сек.) дугового разряда постоянного тока, для генерации атмосферной плазмы на электродах, что позволяет получить различные порошковые материалы, к примеру на основе углерода. В ходе реализации работы экспериментально найдены величины ряда переменных, использованных в программном коде для управления установкой, обеспечивающие надежное инициирование и стабильное горение дугового разряда. В частности, выявлено, что при известной геометрии электродов, используемых в установке при атмосферных условиях, необходим режим короткого замыкания электродов для их прогрева, путем введения временной паузы, продолжительностью в 0.2 сек., между событием касания электродов и режимом поддержки разрядного промежутка, выполняемого за счет отведения анода на рабочем органе привода от катода. Экспериментально найдено, что при заданных значениях силы тока порядка 100...200 А и известных параметрах электродов, для поддержания горения дугового разряда, необходима величина разрядного промежутка порядка 0.5...2.0 мм.

### Список использованных источников

1. Пак А.Я. Тезисы докладов с электронным доступом онлайн. URL: [http://efre2018.hcei.tsc.ru/private/view\\_abs.html?id=260](http://efre2018.hcei.tsc.ru/private/view_abs.html?id=260) (дата обращения: 05.11.2018).
2. Arora N. and Sharma N. Diamond & Related materials // ELSEVIER. 2014. Vol. 50. Pp. 135-150.